



Kvalita výliskov z biomasy v závislosti od spôsobu lisovania

Peter KRIŽAN^{1,}, Miloš MATÚŠ¹, Juraj BENIAK¹, Michal SVÁTEK¹*

¹ *Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvalitu, Námestie Slobody 17, 81231 Bratislava, Slovensko*

* **Email:** peter.krizan@stuba.sk

Pre zabezpečenie výroby kvalitných výliskov z biomasy je nutné sa zaoberať vplyvmi rôznych faktorov, ktoré sú nezanedbateľnou súčasťou celej technologickej linky. Tieto faktory viac či menej ovplyvňujú výslednú kvalitu výliskov z biomasy. Jedným z faktorov je spôsob zhutňovania (lisovania) do formy tuhých výliskov. Popri rozvoji zhodnocovania biomasy do foriem tuhých biopalív sa rozvíjajú aj technické normy hodnotiace kvalitu takýchto biopalív. Pochopením zákonitostí jednotlivých spôsobov lisovania a správnu voľbou spôsobu lisovania, je možné vytvoriť vhodné podmienky pre vylisovanie kvalitných výliskov.

Kľúčové slová: tuhé biopalivo, výlisok, lisovanie v uzatvorenej komore, lisovanie v otvorenej komore, viacnásobné lisovanie, hustota výliskov

1 Úvod

V prípade zhutňovania biomasy pre energetické účely možno dostupné technológie rozdeliť na briketovanie a peletovanie. Rozdiel medzi uvedenými technológiami je vo veľkosti a tvare výlisku a v procese vzniku výliskov. Spoločným znakom technológií briketovania a peletovania je lisovanie materiálu pri veľmi vysokom tlaku a teplote. Pri tlaku 80 – 150 MPa a teplote cca 120° C sa z biomasy uvoľňuje z bunkových štruktúr materiálu lignín. Tento pri dostatočnej „výdrži“ zlisovaného materiálu v stlačenej forme so súčasným pomalým ochladením, pôsobí ako spojivo. Z pohľadu spôsobu lisovania v procese peletovania existuje iba jeden základný spôsob lisovania. Lisovací nástroj pôsobí na lisovaný materiál, ktorý je zatlačovaný do lisovacej matrice. Tu dochádza k zhutneniu a po prechode lisovacou maticou a odrezaní, vznikne peleta. Technológia peletovania je charakteristická tým, že v jednom časovom okamihu vzniká niekoľko výliskov - peliet. Pre proces briketovania existujú viaceré možnosti (spôsoby) lisovania a popis ich rozdielneho vplyvu na kvalitu výliskov je cieľom tohto článku.

2 Briketovací proces

Produktom briketovania je briketa valcového, kvádrového alebo n-uholníkového tvaru. Pri briketovaní vzniká v jednom časovom okamihu len jeden výlisok (rozdiel oproti peletovaniu). Lisovacím nástrojom môže byť lisovací piest alebo lisovacia závitovka. Poznáme mechanické briketovacie lisy (kľukový mechanizmus, kolenovopákový mechanizmus, závitkový systém) a hydraulické briketovacie lisy. Briketovanie môže



prebiehať v tzv. otvorenej alebo v uzatvorenej komore. Keďže existujú rôzne konštrukcie briketovacích lisov, naskytá sa otázka aký je rozdiel medzi výslednou kvalitou výliskov (brikiet) týchto konštrukcií. Vzhľadom na malé rozmery peliet je zbytočné rozoberať ich vnútorné poruchy v závislosti od typu peletovacieho stroja. V prípade technológie briketovania je situácia odlišná. Brikety sú väčšie, a teda ich vnútorné poruchy sú výraznejšie a značne ovplyvňujú kvalitu, t.j. pevnosť a mechanické vlastnosti týchto výliskov. Pri briketovaní môžeme princíp lisovania rozdeliť na tri skupiny, pričom každý princíp má svoj špecifický lisovací nástroj a iný vplyv na kvalitu výliskov.

Lisovací piest hydraulického lisu - pri briketovaní biomasy na hydraulickom lise dochádza k lisovaniu v uzavretej komore celého objemu materiálu potrebného na vytvorenie jedného výlisku naraz – na jeden zdvih piesta. Pri tomto princípe briketovania je možné vytvárať rôzne tvary výliskov. So zväčšovaním dĺžky výlisku materiál prestáva byť homogénne zhutnený v celom objeme a vznikajú poruchy v štruktúre výlisku, čo nepriaznivo pôsobí na jeho kvalitu. Vznikajú vo výlisku trhliny a nie je dosiahnutý vysoký stupeň zhutnenia v celom objeme, a teda nielen hustota, ale predovšetkým mechanická pevnosť výlisku sa výrazne zhoršuje.



Obr. 1 Brikety vyrobené na hydraulickom lise



Obr.2 Hydraulický briketovací lis

Lisovací piest mechanického lisu - výroba výlisku na mechanických lisoch s lisovacím piestom prebieha v otvorenej lisovacej komore, kde je materiál lisovaný a pretláčaný cez lisovaciu hubicu prostredníctvom lisovacieho piesta. Týmto princípom je biomasa zhutňovaná do plného valcového nekonečného výlisku, ktorý je následne delený na požadovanú dĺžku. Súdržnosť jednotlivých častí zabezpečuje špeciálne tvarovaný koniec piesta, ktorý preráža jednotlivé časti a vytvára tak medzi nasledujúcimi časťami výlisku spoj tvarovým stykom. Keďže výlisok vzniká spájaním jednotlivých častí, vznikajú poruchy súdržnosti (trhliny) práve na rozhraní jednotlivých častí výlisku, čo znižuje kvalitu výlisku – najmä jeho mechanickú pevnosť.

Lisovacia závitovka mechanického lisu - briketovaním biomasy prostredníctvom lisovacej závitovky sa dosahuje najlepšia kvalita výliskov. Je možné vytvárať rôzne tvary výliskov, od valcových cez n-uholníkové, s dierou alebo bez nej. Materiál nie je zhutňovaný po častiach, ale kontinuálne, čím nevznikajú poruchy v štruktúre výliskov. Výlisok vzniká ako nekonečný, ktorý sa následne delí na požadované dĺžky. Kontinuálne lisovanie materiálu



zabezpečuje vysoký stupeň zhutnenia a vysokú úroveň mechanických ukazovateľov kvality výliskov.



Obr. 3 Brikety vyrobené na mechanickom lise



Obr.4 Mechanický (kľukový) briketovací lis



Obr. 5 Brikety vyrobené lisovacou závitovkou



Obr. 6 Závitkový briketovací lis

Na základe skúseností z praxe môžeme konštatovať, že použitý zhutňovací stroj ovplyvňuje výslednú kvalitu výlisku. Z našich analýz vyplýva, že najkvalitnejší výlisok dokážeme urobiť lisovacou závitovkou, potom lisovacím piestom mechanickým lisom a najmenej kvalitné výlisky vyrába lisovací piest hydraulického lisu. Výsledky získané vykonanými analýzami však nie sú podložené korektnými experimentmi. Preto sme sa rozhodli experimentálne porovnať a definovať vplyv spôsobu lisovania na výslednú hustotu výliskov.

3 Stanovanie vplyvu spôsobu lisovania na hustotu výliskov

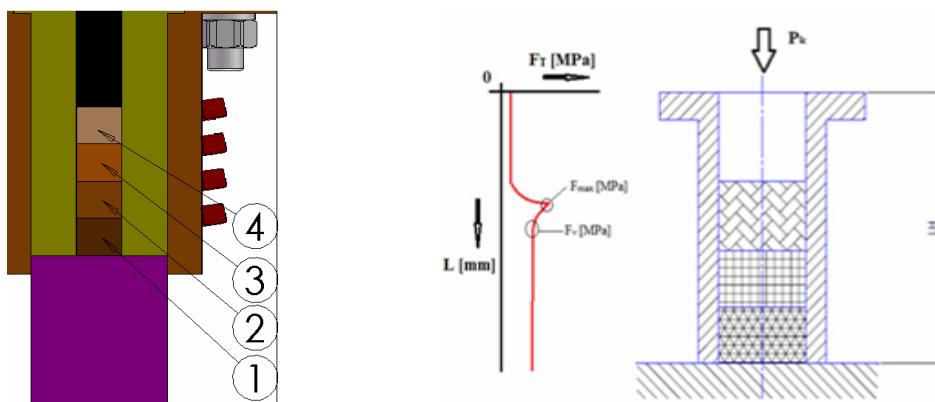
V našom experimente sme využili experimentálny lisovací stend, ktorý máme k dispozícii na pracovisku. Rozhodli sme sa, že porovnáme a stanovíme vplyv lisovania v otvorenej lisovacej komore, čo je vlastne spôsob lisovania ktorý prebieha na mechanických kľukových lisoch, a vplyv lisovania v zatvorenej lisovacej komore, čo je spôsob lisovania ktorý prebieha na hydraulických briketovacích lisoch. Spôsob lisovania pomocou lisovacej závitovky, sme z dôvodu nerealizovateľnosti na našom lisovacom stende neuvažovali.



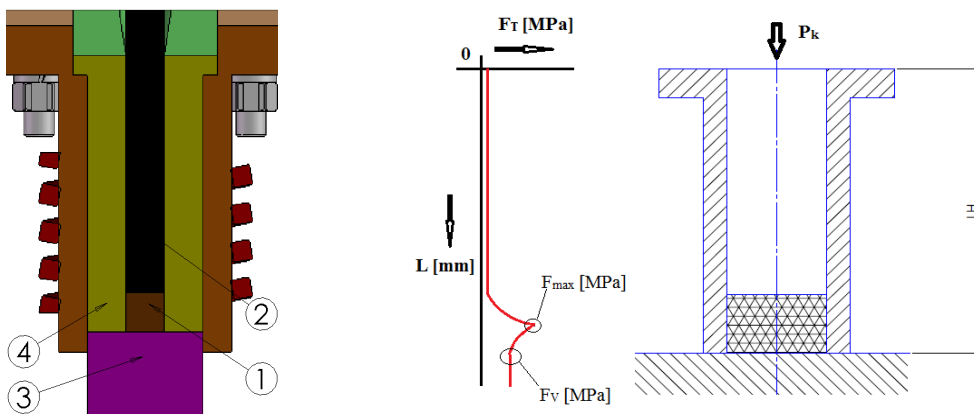
V tomto experimente sme sa snažili zistiť vplyv rozdielneho spôsobu lisovania na výslednú kvalitu výliskov a získať informáciu o pôsobení radiálnych tlakov v lisovacej komore. Pre podmienky dostupného experimentálneho stendu sme experiment zjednodušili.

Lisovanie v „otvorenej“ lisovacej komore prebieha za kontinuálneho prísunu lisovaného materiálu do lisovacej komory. Na lisovaný materiál pôsobí cyklicky lisovací piest axiálnou silou a tým dochádza k postupnému zhutneniu lisovaného materiálu do tuhých foriem a ich posunu naprieč celou lisovacou komorou až kým briketa opustí lisovaciu komoru. Princíp tejto „otvorenej“ lisovacej komory sme sledovali pri lisovaní viacerých výliskov (Obr. 7), teda komoru sme pred lisovaním naplnili viackrát (2, 3 a 4x). Protitlak sme uvoľnili v priebehu lisovania, keď už zlisované zátky vytvorili dostatočný protitlak. V podstate tento systém je všeobecne používaný pri „priebežných“ lisovacích komorách briketovacích lisov, teda komorách kde sa nevytvára protitlak celkovým uzatvorením komory. Takýmto zjednodušeným systémom je možné sledovať zhutňovanie jednotlivých zlisovaných zátek v lisovacej komore, ich vzájomné ovplyvňovanie a pôsobenie vzniknutých radiálnych tlakov a trecích síl medzi lisovaným materiálom a stenami lisovacej komory.

Lisovanie v „uzavretej“ lisovacej komore prebieha v uzatvorenom priestore po naplnení lisovaným materiálom. Lisovací piest vykonáva lisovanie iba počas uzatvorených cykloch. Súčasťou cyklu je aj kľudová fáza (časová výdrž) lisovacieho piesta, počas ktorej dochádza buď k prísunu nového lisovaného materiálu alebo k vysunutiu zhutnenej brikety z lisovacej komory. Princíp „uzavretej“ lisovacej komory (Obr. 8) sme sledovali pri lisovaní vždy iba jedného výlisku, teda komoru sme naplnili pred lisovaním vždy iba jednou, rovnakou (objemovo) dávkou pilín. Spodnú zátku sme uvoľnili až pred vylisovaním výlisku von z lisovacej komory.



Obr. 7 Schéma lisovania na viac naplnení – princíp „otvorenej“ lisovacej komory

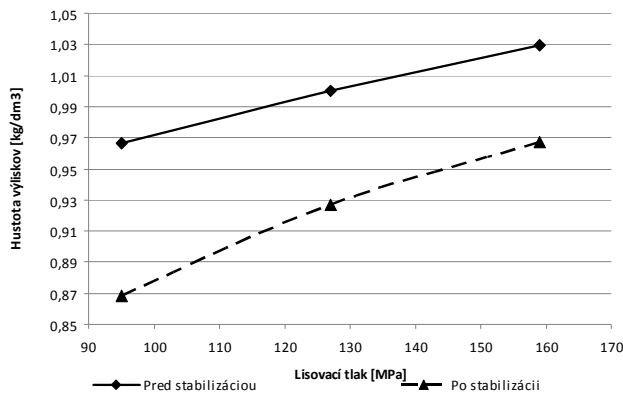


Obr. 8 Schéma lisovania na jedno naplnenie – princíp „uzavretej“ lisovacej komory

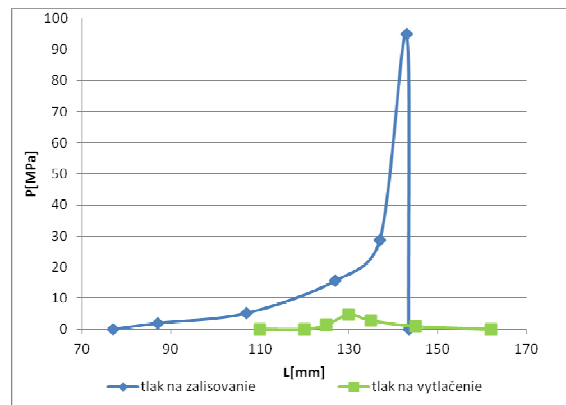


Experimenty prebiehali v laboratórnych podmienkach pri teplotách okolia približne 23°C. Dodatočná pôsobiaca lisovacia teplota nebola zvolená, z dôvodu aby lisovacia teplota neovplyvňovala veľkosť radiálnych tlakov a trecích podmienok. Pre experimenty boli použité borovicové piliny veľkosti frakcie 2 mm a o vlhkosti 11,5 %. Bolo vylisovaných vždy po 6 výliskov pre každé nastavenie a lisovanie prebiehalo v troch tlakových hladinách – 95 MPa, 127 MPa, 159 MPa.

Pri „jednonásobnom“ lisovaní, ktoré reprezentuje lisovanie v „uzatvorenej“ komore, možno z priebehov hustôt konštatovať, že s nárastom lisovacieho tlaku rastie hustota výliskov (Obr. 9) a taktiež aj sila potrebná na vytlačenie výliskov von z lisovacej komory. Sledovali sme aj priebehy tlakov potrebných na vytlačenie výliskov v závislosti od pôsobiacich axiálnych lisovacích tlakov (Obr. 10). Po dobe stabilizácie prišlo najmä po dilatačnom procese výliskov k výraznejšiemu poklesu hustoty. Tento fakt možno pripísať slabšiemu previazaniu materiálu z dôvodu nedostatočného pôsobenia lisovacieho tlaku. Pri lisovaní bez teploty má hlavný podiel na výslednej hustote hlavne lisovací tlak.

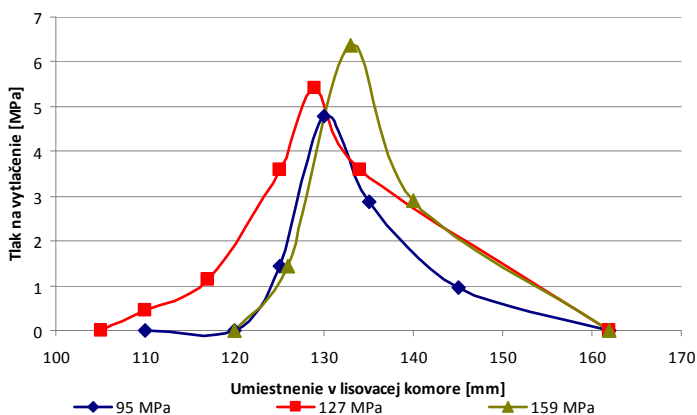


Obr. 9 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri „jednonásobnom“ lisovaní

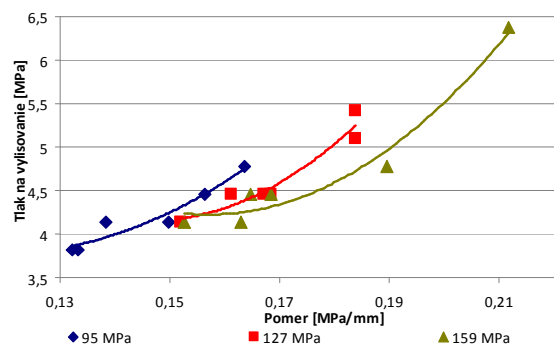


Obr. 10 Priebeh a veľkosť tlaku na vytlačenie výliskov po zalisovaní 95 MPa

Na predchádzajúcom obrázku 10 je zobrazený priebeh tlaku na zalisovanie a tlaku na vytlačenie od polohy piestu v lisovacej hubici. Na obrázku 11 sú znázornené už iba tlaky potrebné na vytlačenie v závislosti od veľkosti tlaku pri zalisovaní. Z grafu je vidieť, že čím



Obr. 11 Priebeh tlakov v lisovacej komore potrebných na vytlačenie výliskov pre rôzne veľkosti tlakov na zalisovanie

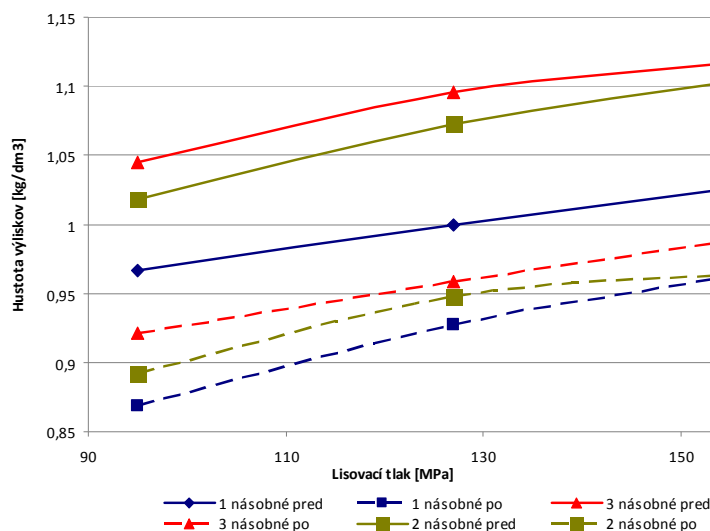


Obr. 12 Priebeh tlakov na vylisovanie v závislosti od veľkosti tlakov na zalisovanie



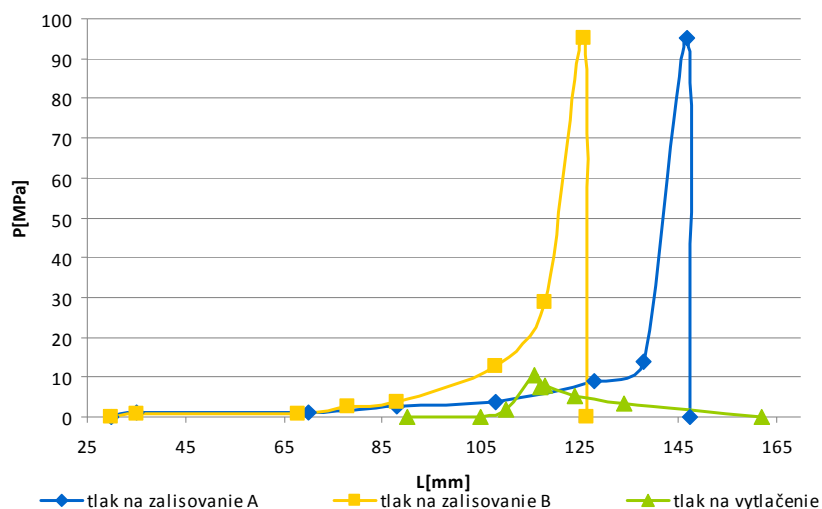
väčší lisovací tlak na zalisovanie, tým je potrebný väčší tlak na vylisovanie. Priebeh tlaku potrebného na vytlačenie však narastá pomalšie, ako priebeh tlaku potrebného na zalisovanie. Taktiež z tohto grafu môžeme zistiť závislosť tlaku na zalisovanie od dĺžky, v ktorej dochádza k zalisovaniu materiálu. Keďže pri naplňovaní lisovacej komory nie je vylúčená zmena množstva lisovaného materiálu a pri rôznych vstupných objemoch získame rôzne dĺžky výliskov. Dĺžka výliskov ovplyvňuje veľkosť tlakov potrebných na vylisovanie a preto je vhodné ich prepočítať na 1 mm výliskov. Túto závislosť je možné vidieť na obr. 12.

Okrem experimentov, kedy bol vždy v lisovacej hubici lisovaný len jeden výlisok, boli vykonané merania aj s tzv. viacnásobným zalisovaním. Experimenty prebehli aj pre dvojnásobné a trojnásobné zalisovanie. Tieto reprezentujú lisovanie v tzv. „otvorenej“ lisovacej komore. Po vylisovaní výlisku z lisovacej komory bol výlisok zväžený a odmeraný (dĺžka, priemer). Na nasledujúco obrázku je vidieť porovnanie hustôt získaných po jednonásobnom, dvojnásobnom a trojnásobnom lisovaní borovicových pilín. Vidíme, že s nárastom počtu zalisovaní resp. doby počas ktorej je výlisok podrobený pôsobeniu lisovacieho tlaku v lisovacej komore rastie aj hustota výliskov.



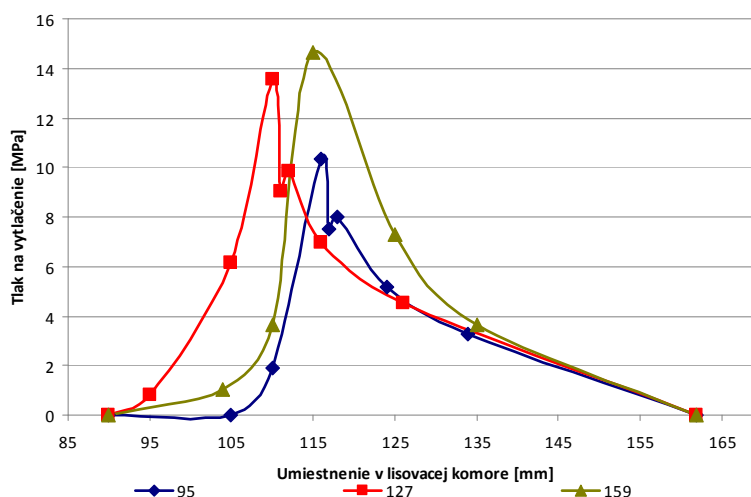
Obr. 13 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri „viacnásobnom“ lisovaní

Po vytlačení výlisku z lisovacej komory boli jednotlivé výlisky oddelené a zmerané ich rozmery a hmotnosť. Z priemerných hodnôt pre jednotlivé tlakové hladiny boli zostavené prezentované grafy. Znázornené priebehy tlakov boli priamo zaznamenávané na lisovacom zariadení počas zalisovania a vytlačania. Na nasledujúcich obrázkoch - grafoch sú zobrazené závislosti tlaku na zalisovanie a tlaku na vytlačenie od polohy piestu v lisovacej hubici, pri dvoj a trojnásobnom zalisovaní. Z grafov je vidieť, čím väčší tlak na zalisovanie, tým je potrebný väčší tlak na vylisovanie. Tlak na vylisovanie závisí aj od dĺžky zlisovaného stĺpca, keďže táto dĺžka ovplyvňuje veľkosť trecích síl pôsobiacich medzi zlisovanou zátkou a stenami lisovacej komory. Pri viacnásobnom zalisovaní naplníme lisovaciu komoru viackrát, preto je aj dĺžka zlisovaného stĺpca väčšia.



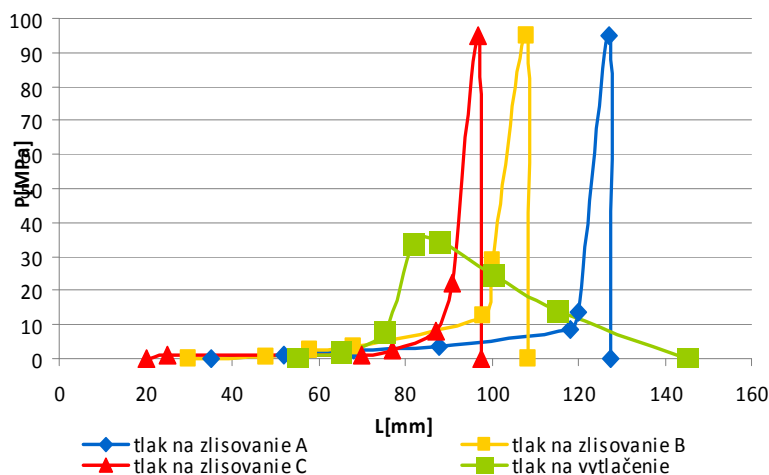
Obr. 14 Priebeh a veľkosť tlaku na vytlačenie výliskov po dvojnásobnom zalisovaní 95 MPa

Priebeh tlaku potrebného na vytlačenie však narastá pomalšie, ako priebeh tlaku potrebného na zalisovanie. Taktiež z tohto grafu môžeme zistiť, závislosť tlaku na zalisovanie od dĺžky v ktorej dochádza k zalisovaniu materiálu. Pri porovnaní priebehov tlakov pri jednonásobnom (Obr. 11) a dvojnásobnom lisovaní (Obr. 15) vidíme, že rozdiel viac ako 50 %. Keďže sú výlisky v lisovacej komore podrobené pôsobeniu lisovacieho tlaku dlhšie, doba kalibrácie výlisku je vyššia, narastá aj hustota výliskov. Tento fakt potvrdzuje aj závislosť na obrázku 13.

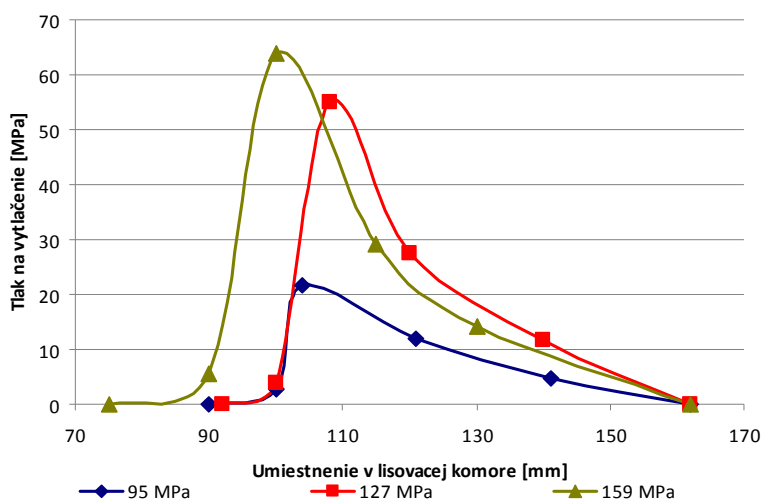


Obr. 15 Priebeh tlakov v lisovacej komore potrebných na vytlačenie výliskov pre rôzne veľkosti tlakov na zalisovanie pri dvojnásobnom zalisovaní

Pri trojnásobnom zalisovaní sa naše úvahy opäť potvrdili. S nárastom počtu naplnení a zalisovaní a s nárastom doby kalibrácie výliskov v lisovacej komore, narastá aj hustota výliskov aj tlak potrebný na vytlačenie výliskov z lisovacej komory.

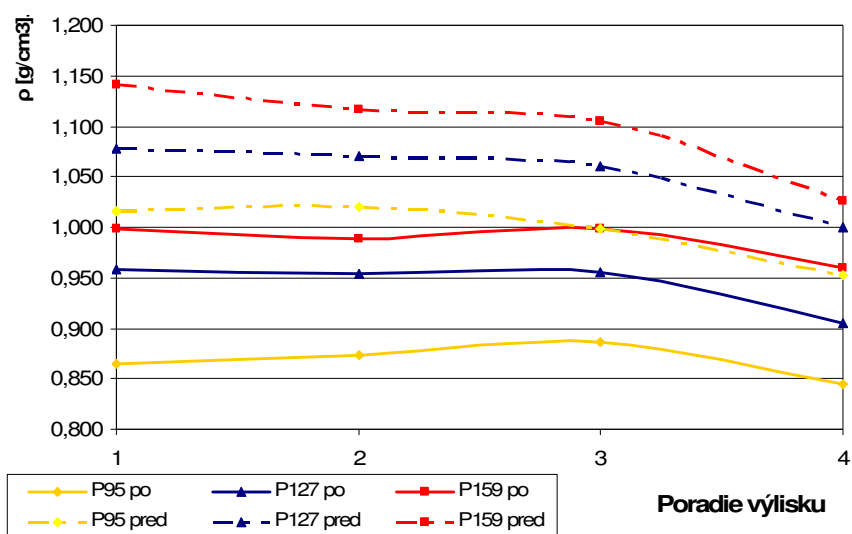


Obr. 16 Priebeh a veľkosť tlaku na vytlačenie výliskov po trojnásobnom zalisovaní 95 MPa



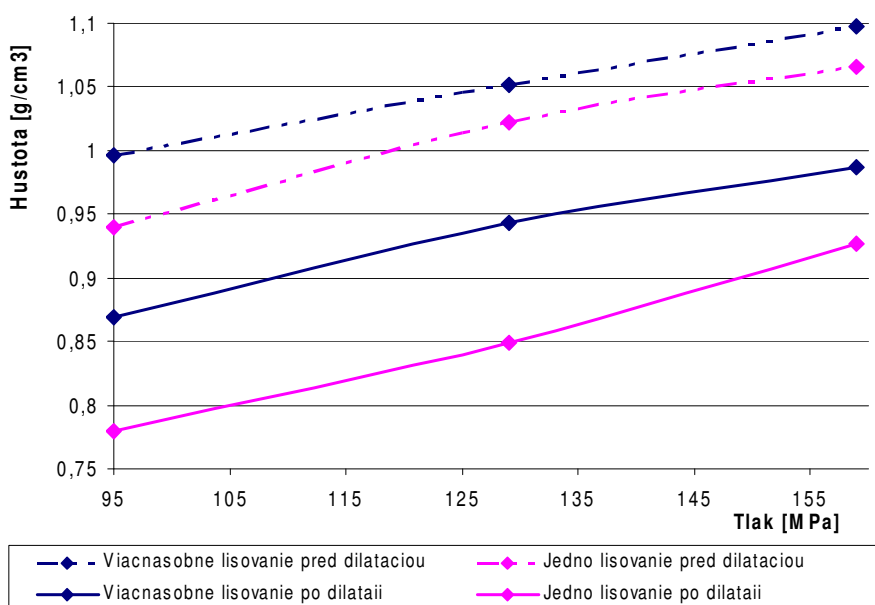
Obr. 17 Priebeh tlakov v lisovacej komore potrebných na vytlačenie výliskov pre rôzne veľkosti tlakov na zalisovanie pri trojnásobnom zalisovaní

Pri porovnaní hustôt jednotlivých výliskov vylisovaných pri viacnásobnom lisovaní, prvé tri výlisky vykazovali len mierne výkyvy v hodnotách hustôt. Možno pozorovať len veľmi mierne kolísanie. Pri posledných výliskoch už možno pozorovať badateľný pokles. Tento jav možno pripísať viacerým faktorom. Na posledný výlisok pôsobil lisovací tlak len jedenkrát, pričom na ostatné kompakty pôsobila sila opakovane podľa pozície. Druhým dôvodom môže byť doba kalibrácie, ktorej bol výlisok podrobený v lisovacej komore. Posledné kusy sa nachádzali v komore najkratšiu dobu a teda mali aj najmenej času potrebného na vyrovnanie vnútorných napätí. Z nasledujúceho obrázka 18 jasne vyplýva, že hustota v závislosti od poradia, čiže z výškou stĺpca komprimovanej hmoty klesá.



Obr. 18 Porovnanie hustôt výliskov pred a po dilatácii pri rôznych tlakoch v závislosti od poradia zalisovania

Zaujímavým porovnaním, ktoré potvrdili naše výsledky a úvahy, bolo porovnanie priemerných hustôt výliskov pri viacnásobnom lisovaní s priemernou hodnotou výliskov pri jednonásobnom lisovaní. Pre všetky nastavené tlakové hladiny bola kvalita výliskov porovnateľne vyššia pri viacnásobnom zlisovaní. Tieto výlisky mali taktiež menšiu dilatačnú zmenu. Pripisujeme to práve spomínanej dobe zotrvania materiálu v priestore kanálu a vyrovnávaní vnútorných napätí. Zvyšovaním dĺžky kanálu narastá rozdiel medzi hustotami a hustota výliskov sa v grafoch prikláňa v prospech lisovania na viac naplnení.



Obr. 19 Porovnanie hustôt výliskov pri rôznych tlakoch pri viacnásobnom a jednonásobnom zalisovaní pred a po dilatácii



4 Závěr

Našimi experimentmi bol definovaný a stanovený vplyv rôzneho spôsobu lisovania na výslednú hustotu výlisok. Rozdielny spôsob lisovania má za následok rôzne tlakové pomery v lisovacej komore, ktoré ovplyvňujú výlisok a jeho hustotu. Jednoznačne môžeme konštatovať, že pri viacnásobnom lisovaní, čo predstavuje lisovanie v „otvorenej“ (priebežnej) komore, je možné dosiahnuť vyššie hustoty výlisok. Je to z dôvodu pozitívneho vplyvu dlhšej doby kalibrácie, počas ktorej je výlisok podrobený tlakovým podmienkam v lisovacej komore. Záverom je možné povedať, že pri lisovaní rovnakým axiálnym lisovacím tlakom je z pohľadu hustoty výlisok vhodnejšie použiť lisovanie v „otvorenej“ komore porovnaní s „uzatvorenou“ komorou.

Pod'akovanie

V tomto príspevku sú prezentované výsledky projektu APVV-0857-12, Výskum trvanlivosti nástrojov progresívnej konštrukcie zhutňovacieho stroja a vývoj adaptívneho riadenia procesu zhutňovania, financovaný Agentúrou pre podporu vedy a výskumu.

Použitá literatúra

- [1] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M.: Výskum procesu zhutňovania rôznych druhov biomasy. - 1. vyd. - Bratislava : FX s.r.o., 2014. - 182 s. - ISBN 978-80-89313-59-4
- [2] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M.; MATÚŠ, M.: Rôzne pohľady na kvalitu tuhých ušľachtilých biopalív, In: Manažérstvo životného prostredia 2009, Zborník príspevkov z 9. konferencie so zahraničnou účasťou, Bratislava, 10.-11. 12. 2009, Žilina : STRIX, 2009, - ISBN 978-80-89281-56-5, s. 163-168
- [3] ŠOOŠ, Ľ.: Vývoj nových konštrukcií zhutňovacích strojov pre zhutňovanie biomasy, Tézky inauguračnej prednášky, Vedecké spisy Strojníckej fakulty, Technická univerzita v Košiciach, 2008, ISBN 978-80-553-0070-2, s.50